

JIGAGEM COM UMA ROTA DE REAPROVEITAMENTO DE ESCÓRIA E RECUPERAÇÃO DE LIGAS DE FeSiMn

Carolina Cerqueira Testagrossa¹

Laís Santos de Oliveira²

Paulo Roberto Britto Guimarães³

RESUMO

A produção de ligas de FeSiMn está intimamente ligada à indústria siderúrgica. A partir de sua produção é gerada a escória que é o principal resíduo sólido proveniente dos processos siderúrgicos. A fim de vender essa escória para uma empresa produtora de cimento, que requer que o teor de metal presente na escória seja muito pequeno, o presente trabalho buscou avaliar o processo de jigagem como uma rota de redução desses metais, e consequentemente, um processo para recuperação da liga presente na escória. A partir desse método gravimétrico é possível obter uma pureza e um aproveitamento do produto de até 98%. Através dos resultados obtidos, verificou-se a redução da presença de metais na escória e que a liga de FeSiMn recuperada no processo de jigagem possui valor agregado. Por fim, foi feita uma análise econômica, na qual foi evidenciado a viabilidade do processo.

Palavras-chave: Escória; Jigagem; Manganês.

ABSTRACT

The production of FeSiMn alloys is closely linked with the steel industry. From its production is generated the slag that is the main solid residue from the steel processes. With the objective of selling this slag to a company producing cement, whose metal percentage in the slag should be very small, this work looked for evaluate the jigging process as a route to reduce these metals, and consequently, a process for recovering the alloy present in the slag. By the results obtained, it was verified the reduction of the presence of metals in the slag and that the FeSiMn alloy recovered in the jigging process has added value. Finally, an economic analysis was made, in which the viability of the process was evidenced.

Keywords: Slag; Jigging; Manganese.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior potencial em recursos minerais do mundo, com mais de 50 tipos de minerais explorados, dentre eles os principais são: minério de ferro, nióbio, manganês bauxita, cobre e níquel. A antiga formação rochosa do Brasil e a infraestrutura em processo de fortalecimento são alguns dos fatores que fornecem um ambiente favorável para o desenvolvimento da mineração e metalurgia no país (OLIVEIRA, 2013).

¹ Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Salvador. E-mail: carol_cerqueira1995@hotmail.com

² Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Salvador. E-mail: laisantos24@hotmail.com

³ Prof. Orientador da Universidade Salvador. E-mail: paulorbg@unifacs.br

A produção de ferro ligas é um dos responsáveis em manter a balança comercial do setor metalúrgico em sua tendência superavitária, apresentando um saldo de cerca de US\$2,5 bilhões em 2014. As ferro ligas são ligas de ferro contendo metais mais nobres, como, silício, manganês, cromo e níquel. As ferro ligas a base de manganês são empregadas na fabricação de praticamente todos os tipos de aço, devido a sua alteração nas propriedades do aço, o que lhes confere ação desoxidante e dessulfurante, além de aumentar sua resistência e sua dureza. As ligas de ferro a base de silício também atuam como agente desoxidante, por tanto, sendo utilizada na fabricação de praticamente todos os tipos de aço comuns. Já as ligas de ferro contendo cromo e níquel é empregada principalmente na produção de aço inoxidável. Como consequência, as indústrias siderúrgicas são responsáveis por 85% do consumo de ferro ligas (MME, 2015).

Diante deste contexto, a produção de ferro ligas vem proporcionando ganhos econômicos para o Brasil, entretanto aumenta os impactos negativos ao meio ambiente. Um dos problemas presentes no setor siderúrgico, atualmente, é com relação ao destino dado aos resíduos que são gerados nas etapas de produção (MILANEZ e PORTO, 2008).

As escórias são os resíduos de maior geração na indústria siderúrgica, sendo este cerca de 67%. Existem diversas maneiras de aplicar comercialmente este resíduo nas indústrias, porém, isto só é possível após a escória ser submetida a um reprocessamento com o objetivo de separar os metais ainda presentes nela (OLIVEIRA, 2013). Com o intuito de solucionar este problema de forma técnica, econômica e ecológica, empresas vêm investindo no reaproveitamento de resíduos industriais, que transforma o que era rejeito em coprodutos, aumentando a qualidade do produto reaproveitado. Isto pode ocorrer de duas maneiras ou através de novas tecnologias de beneficiamento destes resíduos ou através da reciclagem dos mesmos, o que minimiza sua geração (DELLA et al., 2005; FERNANDES, 2005; MANCIO, 2001; TAKANO et al., 2000).

Em uma determinada Empresa X produtora de ligas de ferro-manganês, escória rica, no qual o teor de manganês deve ser superior a 40%, oriunda do processo de produção da liga de ferro-manganês alto carbono (FeMnAC), é reaproveitada como insumo na produção da liga de ferro-silício-manganês (FeSiMn). Já a escória gerada na fabricação da liga de FeSiMn, é uma escória pobre devido ao teor de manganês ser menor que 20%, consequentemente, não sendo reaproveitada no processo. Diante desse contexto uma empresa X tem como proposta a venda desta escória pobre para uma determinada empresa de cimento,

porém, a quantidade de metais presentes nela, proveniente de contaminações durante o processo, faz com que seja necessário a retirada dos metais, para uma posterior venda da escória.

Como uma alternativa viável, este trabalho propõe o uso da técnica de jigagem como uma rota de separação destes metais da escória por ser um processo que possui construção barata, além de operação e manutenção simples. Esse processo é realizado a partir da separação de minerais com densidades diferentes, em um leito que se torna fluido devido a passagem de uma corrente pulsante de água ou ar. O leito é submetido a um movimento ascendente e descendente, que acaba produzindo a estratificação dos minerais, ou seja, a separação dos minerais em camadas de densidades crescentes do topo para a base do leito. A repetição de tal movimento tem o intuito de dilatar o leito e controlar a dilatação para que as partículas mais densas possam penetrar e ir para o fundo da célula do jig, enquanto que as partículas mais leves do minério permaneçam no topo do leito (LUZ et al., 2004; SAMPAIO et al., 2007).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ferro ligas de manganês

Cerca de 90% de todo manganês produzido no mundo está na forma de ferro ligas de manganês, sendo que pelo menos 98% são utilizados pela indústria do aço. O manganês, é essencial para a produção de qualquer tipo de aço, devido as suas propriedades que proporciona ação desoxidante e dessulfurante, aumento da resistência mecânica e melhora a temperabilidade e a ductilidade do aço (ANDRADE, 1999; FARIA et al., 2012).

Geralmente, o manganês é adicionado no aço na forma de ferro ligas, o qual contém outros elementos químicos como silício, carbono, níquel e cromo, pois estes também modificam a estrutura e as propriedades do aço. As principais ferro ligas de manganês são: ferro manganês alto carbono (FeMnAC), ferro manganês médio carbono (FeMnMC) e ferro silício manganês (FeSiMn). A Tabela 1, mostra as especificações desejadas para cada tipo de liga da empresa em estudo (PEREIRA, 2009; ROMEIRO, 1997).

Tabela 1 - Especificação das ferro ligas de manganês

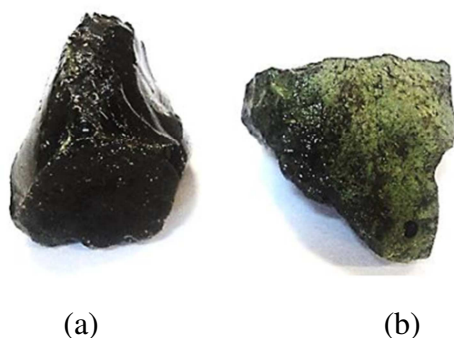
Elementos das ligas	Unidade	FeMnAC	FeSiMn	FeMnMC
Manganês	%	74,00 min.	65,00 min.	78,00 min.
Carbono	%	7,50 máx.	3,00 máx.	2,00 mín.
Silício	%	1,50 máx.	12,00 min.	2,00 máx.
Fósforo	%	0,30 máx.	0,20 máx.	0,30 máx.
Enxofre	%	0,03 máx.	0,03 máx.	0,03 máx.

2.2. Escória de FeSiMn

As escórias são os resíduos de maior geração na indústria siderúrgica, sendo este cerca de 67%. Ou seja, são materiais fundidos formados por reações químicas entre a matéria prima e as impurezas oxidadas durante o refino do metal (NASCIMENTO, 2003).

A função da escória é agregar as impurezas do processo de produção das ligas separando-as dos metais. De acordo com a produção de cada tipo de ferro liga, gera-se uma escória com basicidade, composição e viscosidade específica. Existem dois tipos de escória: rica e pobre, representadas na Figura 1. A escória rica, possui teores superiores a 40% de Mn, sendo reciclável e reaproveitada como insumo na produção de FeSiMn, além disso ela é ácida e apresenta baixo teor de fosforo, que é uma vantagem para produção de FeSiMn. Já a escória pobre, é básica e apresenta teor de Mn menor que 20% e produz cerca de 30 % Si através da utilização da liga padrão com adição de resíduos de silício da indústria de ferro silício e, ao final do processo de produção da ferro-liga, ela é descartada (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1 – Escória de ferro silício-manganês (a) rica e (b) pobre.



A escória, ou seja, os resíduos resultantes dos processos siderúrgicos, possuem diversas composições químicas, dependendo da matéria-prima utilizada e do processo de produção das ligas-metais, porém é formada, basicamente por: $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das escórias de acordo com o tipo de liga

Compostos	FeSiMn (escória pobre)	FeMnAC (escória rica)	FeMnMC (escória rica)
% MnO	14	26	24,5
% SiO ₂	39	16,7	26,7
% CaO	20,6	14,2	28,5
% MgO	4,86	1	4
% Al ₂ O ₃	17,28	18	6,9
% FeO	0,28	0,7	0,48

Dentre as diversas aplicações dadas a escória, a destacada neste trabalho será a de matéria-prima para produção do cimento, pois o emprego desse resíduo diminui o calor para formação do clínquer, material formado na produção de cimento Portland, e reduz a emissão de gases poluentes. Foi classificado como viável a utilização de, aproximadamente, 10% da escória como adição ao cimento para produção de concreto (OLIVEIRA, 2013).

2.3. Métodos de separação dos minerais

Um dos objetivos do tratamento de minérios em siderúrgicas é concentrar os minerais de interesse através da separação dos que são minérios, dos que não o são. Para que essa separação ocorra é necessário que haja diferenças em suas propriedades físicas. De acordo com cada propriedade é possível utilizar cada um dos processos de concentração conhecidos: magnética, eletrostática, flotação e gravimétrica.

Atualmente, o processo dominante no tratamento dos mais variados tipos de minérios é a flotação devido à sua grande versatilidade e seletividade, o que lhe permite obter concentrados com elevados teores e expressivas recuperações. Porém, para este trabalho foi utilizado um dos métodos mais antigos de processar o minério, conhecido como jigagem. Este processo de separação gravimétrica, apresenta diversas vantagens como: alta capacidade de processamento e baixo custo de operação, sendo realizado com auxílio da gravidade ou por meio de força centrífuga. Este método se baseia na diferença de densidade, de massa, de

tamanho e forma existente entre os minerais, utilizando-se de um meio fluido (água ou ar) para efetivar a separação. Os equipamentos tradicionalmente utilizados são os jigues, mesas vibratórias, espirais, entre outros (LUZ, 2010).

3 OBJETIVOS

3.1. Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar o processo de jigagem como uma rota de reaproveitamento da escória pobre gerada na produção da liga de FeSiMn da Empresa X, de forma que os custos se tornem uma fonte de faturamento.

3.2. Específicos

- Analisar se a liga de FeSiMn gerada no processo de jigagem possui valor agregado.
- Analisar se o processo de jigagem é eficiente para a separação dos metais presentes na escória para que esta possa ser vendida para uma empresa de cimento;
- Realizar uma avaliação de viabilidade econômica do processo de jigagem.

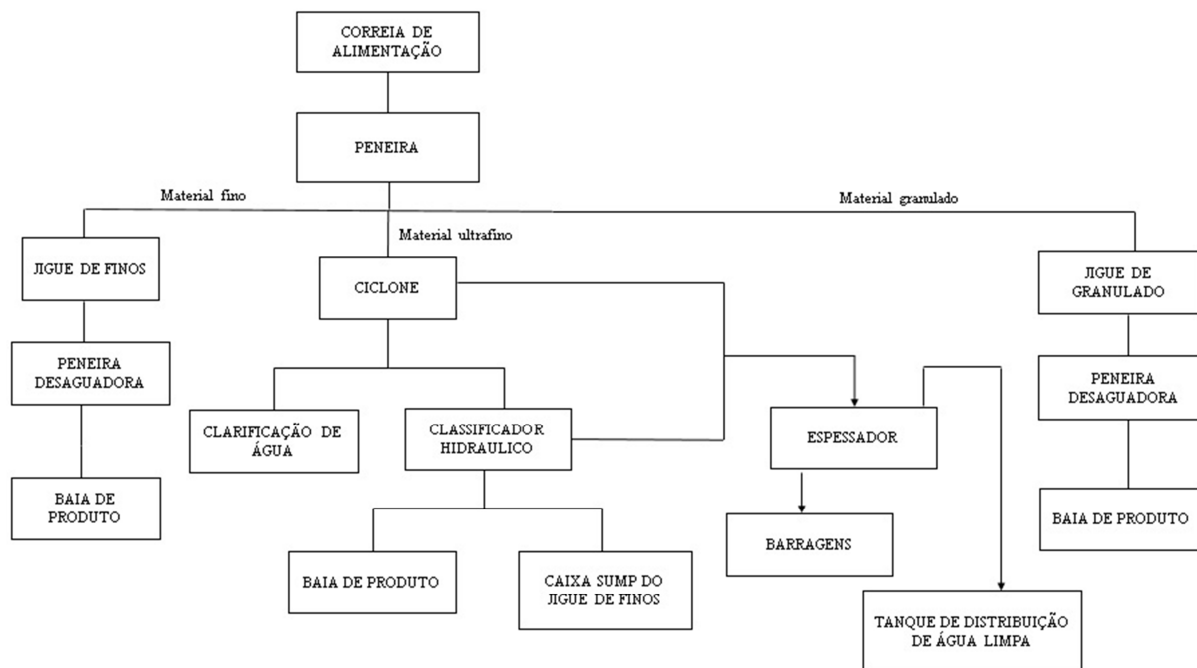
4 METODOLOGIA

De forma a atingir os objetivos proposto por este trabalho, primeiramente foi necessário conhecer o processo de jigagem presente na Empresa X, para isso foi necessário visitas a planta e o um estudo com os materiais disponibilizados pela empresa. Em seguida, iniciou-se a etapa de caracterização química das amostras de escória e liga de FeSiMn fornecidas pela própria empresa. Por fim, a partir dos dados disponibilizados foi feita uma análise de rentabilidade da planta de jigagem, na qual o indicador econômico utilizado foi o EBITDA.

4.1 Processo de jigagem

A Figura 3 apresenta sucintamente o fluxograma geral dos procedimentos realizados no processo de jigagem e que foram adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 3 – Fluxograma do processo



4.2. Os materiais em estudo

Escória de FeSiMn: a escória utilizada para esse estudo, por possuir um baixo teor de manganês e cerca de 30% de silício é uma escória pobre. Esta foi estudada antes do processo de jigagem, ou seja, aquela que foi gerada na produção da liga FeSiMn e após o processo de jigagem. As Figuras 4 e 5 exibem as amostras da escória antes e depois do processo de jigagem, respectivamente.

Figura 4 – Escória de FeSiMn antes do processo de jigagem.

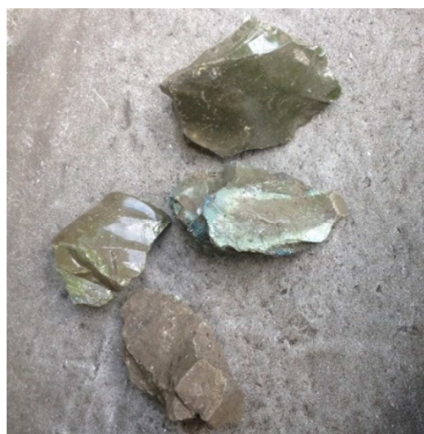


Figura 5 – Escória de FeSiMn depois do processo de jigagem.



Liga de FeSiMn: a liga em estudo foi a recuperada após o processo de jigagem, onde houve uma separação da mesma da escória, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Liga de FeSiMn recuperada após a jigagem.



4.3. Preparação das amostras

A primeira etapa para preparação das amostras foi realizar a amostragem quem tem como objetivo a coleta da amostra do material em estudo de forma que esta represente o sistema como um todo. Em seguida, como a liga e a escória são coletadas no estado bruto, como pode ser visto das Figuras 4, 5 e 6, foi necessário a britagem das amostras com objetivo de diminuir a granulometria do material para posterior pulverização.

4.4. Caracterização Química

A caracterização química das amostras da liga recuperada a partir do processo de jigagem e escória antes e depois do processo, é essencial para determinar suas composições e se a remoção do metal da escória foi eficiente.

Determinação de carbono e enxofre: a análise para a determinação do teor de carbono e enxofre presente na liga de FeSiMn, foi feita na Empresa X, utilizando o Determinador de Carbono e Enxofre, da marca Leco e modelo CS230.

Espectrometria de Fluorescência de Raio – X (FRX): esta técnica permite identificar e quantificar os elementos presentes na liga e na escória. As análises foram realizadas na Empresa X, no espectrômetro de fluorescência de Raio – X da Panalytical, modelo Axios. Após a preparação da amostra, conforme o item 4.3, a liga e as escórias foram prensadas para transformá-las em pastilhas, e assim, realizar as análises.

4.5. Avaliação da viabilidade econômica

O EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization) ou LAJIDA (Lucro Antes dos Juros, Impostos, Depreciações e Amortizações), é um indicador econômico que mensura a geração caixa da empresa produzido apenas em suas atividades operacionais, não levando em consideração, o custo de financiamento, os impostos incidentes sobre o lucro (Imposto de Renda e Contribuição Social) e as receitas e despesas financeiras. Com relação as depreciações, que quantifica a desvalorização dos ativos imobilizados, e a amortização, o qual está relacionado aos pagamentos periódicos de uma dívida, eles não representam saída de caixa efetiva. Consequentemente, estas despesas não devem ser subtraídas do lucro, pois o objetivo do EBITDA é determinar o potencial de geração de caixa operacional. A Equação 1 define o EBITDA, onde os custos operacionais e fixos estão inseridos nos custos totais (SALOTTI e YAMAMOTO, 2005; IÇO e BRAGA, 2001).

$$EBITDA = Receita - Custos operacionais + Depreciação + Amortização \quad (1)$$

De forma a avaliar economicamente a planta de jigagem, no período de agosto/2016 a março/2017, o indicador econômico utilizado foi o EBITDA. Para isso será necessário calcular a receita no período de análise e os custos operacionais, onde estão inseridos os

custos fixos e os variáveis. Os dados foram fornecidos pela Empresa X, porém, foram alterados proporcionalmente por serem confidenciais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Jigagem

A jigagem, na sua forma primitiva, surgiu na mineração, quando o minério que era triturado e misturado com água sob agitação em recipientes rudimentares mostrava que as partículas mais pesadas se concentravam no fundo desses recipientes. Porém, com o passar do tempo foi descoberto que em recipientes com fundo poroso dotado de pulsação ascendente e descendente, a separação por decantação era mais eficiente e rápida (SAMPAIO et al.,2007).

Esse processo é realizado a partir da separação de minerais com densidades diferentes, em um leito que se torna fluido devido a passagem de uma corrente pulsante de água ou ar. O leito é submetido a um movimento ascendente e descendente, que acaba produzindo a estratificação dos minerais, ou seja, a separação dos minerais em camadas de densidades crescentes do topo para a base do leito. A repetição de tal movimento tem o intuito de dilatar o leito e controlar a dilatação para que as partículas mais densas possam penetrar e ir para o fundo da célula do jig, enquanto que as partículas mais leves do minério permaneçam no topo do leito (LUZ et al., 2004; SAMPAIO et al.,2007).

Operação de Jigagem: Em uma planta de recuperação ocorre o processo de separação gravimétrica, por onde será possível a recuperação da liga de FeSiMn da Empresa X. Esse processo, normalmente, é composto por um conjunto de 2 jigs (fino e granulado) e um classificador hidráulico utilizado para o material ultrafino.

Na 1ª etapa a escória a ser jigada é levada através de caminhões e pás carregadeiras para a moega, ou seja, o moinho de alimentação do britador. Operado em circuito aberto, um britador de mandíbula é utilizado como britador primário para que a escória seja triturada. Em seguida, a mesma é levada para um britador secundário, denominado de britador de cone, operado em circuito fechado juntamente com uma peneira classificadora, que irá reduzir ainda mais o tamanho das partículas enviando-as para etapa de empilhamento.

A pilha serve como pulmão entre as plantas de britagem e jigagem, permitindo que a planta de jigagem funcione quando a planta de britagem estiver parada ou vice-versa. A pilha também serve para manter constante a alimentação da jigagem sendo de suma importância manter materiais muito grandes fora da área de empilhamento.

O sistema de alimentação de jigagem compreende uma correia de alimentação que é alimentada pela pilha por meio de um alimentador vibratório. Um conjunto de peneiras de via úmida de dois estágios tem a função de separar a alimentação para os 2 jigues (fino e granulado). Os materiais fino e granulado são encaminhados para seus respectivos jigues por meio dessas correias. O material ultrafino é bombeado para um ciclone. Este ciclone é composto por um overflow, que leva o material para o circuito de clarificação de água, e um underflow que leva o material para um classificador hidráulico. O underflow do classificador hidráulico encaminha o material ultrafino para uma baia de produto e o overflow para uma caixa sump (caixa de coleta) do jigue de finos.

No jigue de granulado pode-se obter uma pureza do produto de até 98% e um aproveitamento de até 98% do produto, enquanto que no jigue de finos pode-se chegar até 95%. O produto (liga) gerado a partir do processo de jigagem é desaguado em pequenas peneiras abaixo do jigue e são encaminhados para a baia de produto. Os mistos do jigue são encaminhados para a baia de mistos, os quais retornam para uma rebitagem e voltam novamente para a planta de jigagem. Já o rejeito (escória jigada) passa por uma peneira desaguadora que alimenta uma correia transportadora formando uma pilha de rejeitos, que posteriormente é vendida.

O overflow do classificador hidráulico e do ciclone alimentam um espessador onde é adicionado floculante. O overflow do espessador vai para o tanque de distribuição de água limpa e seu underflow é bombeado para as barragens para decantação e secagem. A água das barragens é bombeada de volta para o circuito sendo reutilizada e os finos secos são descartados nas barragens de rejeitos.

O tanque de água limpa fornece água suficiente para uma operação eficiente do jigue. A planta de jigagem não gera efluentes e a única água perdida no circuito fechado é a umidade absorvida pelos produtos e rejeitos (aproximadamente 8%). Devido a esta perda é necessária reposição de água para manter um nível constante.

5.2 Preparação das amostras

Para iniciar o processo de caracterização química das amostras da liga FeSiMn e da escória, foi necessário a preparação das mesmas. A primeira etapa consiste na amostragem, cujo objetivo é obter uma amostra representativa do material. Para isso, foram coletados cerca de 100 kg da escória antes e depois da jigagem e da liga de FeSiMn. A coleta foi feita em diferentes partes do monte, no qual o material coletado foi misturado com uma pá formando um círculo. Foi feito o quarteamento do círculo formado, onde este foi dividido em quatro partes iguais e em seguida retirado dois quartos oposto. Os outros dois quartos restantes, foram misturados novamente e foi realizado um novo quarteamento. Este processo está exibido na Figura 7 e o mesmo foi repetido até que a quantidade de amostra desejada fosse obtida.

Figura 7 – Representação do quarteamento da amostra



Em seguida, foi feito a britagem da amostra de cada material em estudo para diminuir a granulometria da liga e da escória facilitando o procedimento de pulverização, que será abordado adiante. As Figuras 8, 9 e 10 mostram, respectivamente, as amostras da escória antes da jigagem, a escória depois da jigagem e a liga de FeSiMn gerada após a jigagem.

Figura 8 – Amostra da escória de FeSiMn antes da jigagem.



Figura 9 – Amostra da escória de FeSiMn após da jigagem.



Figura 10 – Amostra da Liga de FeSiMn recuperada após a jigagem.



Após a britagem, as amostras passaram por outro procedimento de quarteamento, no qual foi utilizado um Quarteador de Jones, onde houve a redução da quantidade de amostra do material, pois quanto menor o volume da amostra mais eficiente será a pulverização. Por fim, foi feita a pulverização dos materiais em estudo com objetivo diminuir, significativamente, a granulometria das amostras até que estas tenham um aspecto de pó.

5.3 Caracterização Química

Determinação de carbono e enxofre: o teor de carbono e enxofre nas ferro ligas de manganês são essenciais para a sua classificação. Assim, após a preparação da amostra, foi feita uma análise da mesma, onde os resultados estão explanados na Tabela 3. Comparando os resultados obtidos com a Tabela 1, que mostra a classificação das ligas, afirma-se que com relação ao teor de carbono e enxofre encontrado a liga pode ser classificada.

Tabela 3 – Análise de carbono e enxofre para a liga de FeSiMn

Componentes	%
C	2,53
S	0,0011

Espectrometria de Fluorescência de Raio – X (FRX): após a preparação das amostras, estas foram prensadas sob um efeito de 200N, pois o equipamento de FRX opera na condição das amostras na forma de pastilha.

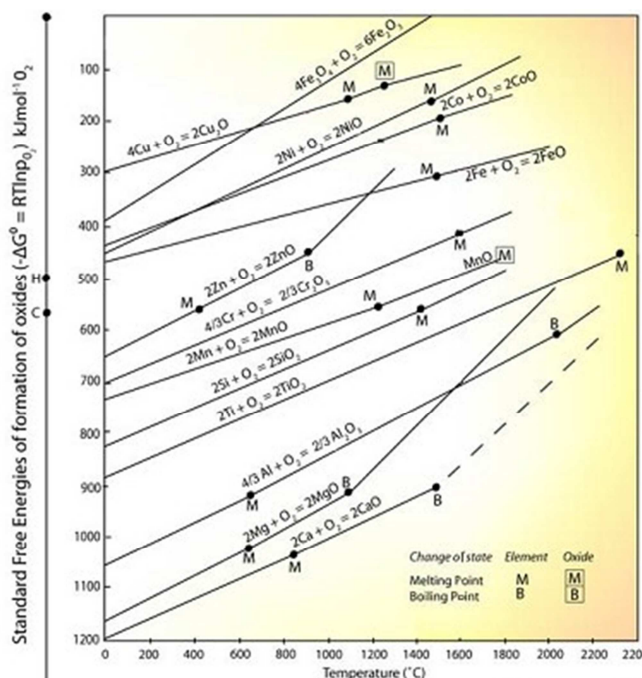
A técnica de FRX quantifica a quantidade de um elemento, ou seja, em um material contendo manganês será quantificado o manganês em sua forma elementar e o manganês em sua forma de óxido, por exemplo. Sabe-se que a escória é basicamente formada por óxidos, portanto os resultados exibidos na Tabela 4, que é referente a escória de FeSiMn antes e depois da jigagem, são mostrados nesta forma. Porém a medida da porcentagem de manganês presente na escória é mostrada em sua forma elementar, uma vez que, parte deste manganês está na forma do metal devido as ineficiências do processo de produção. Assim, a partir das análises feitas no FRX pôde-se evidenciar a diminuição da porcentagem do manganês na escória, mostrando que parte do metal foi separado no processo de jigagem. Entretanto, apenas a diminuição do manganês na escória, não afirma que há ausência de metal na mesma. A Empresa X adota um limite de porcentagem de óxido de ferro ($< 0,5\%$), para certificar que o teor de metal na escória é baixo. Isto pode ser explicado através do diagrama de Ellingham que correlaciona as energias livres de oxidação do metal ao seu respectivo óxido com a temperatura, como mostrado na Figura 11. Observa-se que quanto mais baixa estiver a linha representativa do óxido considerado, mais estável ele será, pois quanto menor for a energia de Gibbs mais espontânea será a reação. Desta forma, podemos afirmar que os óxidos de ferro são muito mais facilmente reduzidos do que os outros, ou seja, as condições de redução dos

óxidos de ferro são mais favoráveis, sendo assim, praticamente todo o ferro carregado deve passar à liga. Consequentemente, caso a escória esteja com um teor de ferro maior que 0,5% podemos afirmar que esta escória está contaminada com metal, como evidenciado na escória antes de ser jigada. Já escória jigada não está contaminada com metal, já que o teor de ferro é menor que 0,5% podendo assim ser vendida.

Tabela 4 – Análise da escória de FeSiMn por FRX

Componente	Escória antes da jigagem	Escória após a jigagem
% (Mn)	15,84	14,67
% MgO	4,06	4,03
% CaO	17,64	17,91
% SiO ₂	32,46	33,13
% Al ₂ O ₃	18,17	18,46
% BaO	2,15	2,10
% K ₂ O	2,22	2,27
% TiO ₂	0,044	0,044
% FeO	0,93	0,48

Figura 11 – Diagrama de Ellingham.



Com relação a liga de FeSiMn recuperada no processo de jigagem, a partir do FRX foi possível determinar sua composição, como mostrado na Tabela 5, e assim, analisar se a liga gerada pode ser classificada. Analisando a Tabela 1, que exibe a classificação para liga de

FeSiMn, pode-se afirmar que a o teor de cada componente analisado no determinador de carbono e enxofre e no FRX está dentro da classificação da liga, ou seja, pode-se afirmar que a liga possui um valor agregado.

Tabela 5 – Análise da liga de FeSiMn recuperada no processo de jigagem

Componentes	%
Mn	65,90
Si	12,38
P	0,11
Fe	13,30
Ti	0,24
Al	0,05

5.4 Avaliação da viabilidade econômica da planta de jigagem

A partir dos dados fornecidos pela Empresa X, foi realizado um estudo de viabilidade econômica da planta de jigagem referente ao período de agosto/2016 até março/2017. Conforme a equação 1 que define o EBITDA, primeiramente será necessário calcular a receita gerada, equação 2. Para isso foi necessário saber quantidade de liga de FeSiMn e escória recuperada, como também, os seus respectivos preços de venda. Com relação ao preço da liga, por ela ser em dólar foi feito uma cotação do dólar em relação ao real, no qual foi considerado um valor médio para cada mês. A Tabela 6 e 7, evidencia as receitas geradas.

$$\begin{aligned}
 & \text{Receita (R\$)} \\
 &= \sum_{i=0} P_i \left(\frac{\text{R\$}}{t} \right) \times Q_i(t)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Onde, P_i é o preço do produto e Q_i é a quantidade de produto.

Tabela 6 - Receita referente aos períodos ago/2016 à nov/2016

	Unid.	ago/16	set/16	out/16	nov/16
Escória processada	t	5.292,08	4.428,59	3.755,64	2.644,01
Liga recuperada	t	212,05	305,14	244,13	177,09
Escória recuperada	t	5.080,03	4.123,45	3.511,50	2.466,92
Preço de venda da liga	R\$/t	3.619,05	3.619,05	3.619,05	3.623,58
Preço de venda da escória	R\$/t	13,74	13,74	13,74	13,74
Receita	R\$	837.213,78	1.160.976,76	931.779,38	675.589,86

Tabela 7 - Receita referente aos períodos Dez/2016 à Mar/2017

	Unid.	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17
Escória processada	t	3.125,52	5.866,09	5.980,13	4.809,02
Liga recuperada	t	187,84	369,56	341,90	250,14
Escória recuperada	t	5.080,03	4.123,45	3.511,50	4.558,89
Preço de venda da liga	R\$/t	3.619,05	5.905,66	5.704,21	5.256,51
Preço de venda da escória	R\$/t	13,74	13,74	13,74	13,74
Receita	R\$	720.169,63	2.258.041,63	2.027.710,18	1.377.484,13

Os custos fixos reportam aos gastos que não variam com a produção. Para planta de jigagem, por ela ser terceirizada, o custo fixo é apenas o da locação da planta. Já os custos variáveis são aqueles que são proporcionais a produção, no qual para jigagem estão presentes movimentações de carga e manutenção dos equipamentos, os quais são responsabilidade da empresa X. Assim, pode obter os custos operacionais, conforme a equação 3 e seus respectivos resultados nas Tabelas 8 e 9.

$$\text{Custos Operacionais} = \text{Custos fixos} + \text{Custos variáveis} \quad (3)$$

Tabela 8 - Custos operacionais referente ao período de ago/2016 à nov/2016

	Unid.	ago/16	set/16	out/16	nov/16
Custo fixo	R\$	218.500,00	218.500,00	218.500,00	218.500,00
Custos variáveis	R\$	310.655,11	418.725,36	237.052,28	372.447,22
Custos operacionais	R\$	529.155,11	637.225,36	455.552,28	590.947,22

Tabela 9 - Custos operacionais referente ao período de dez/2016 à mar/2017

	Unid.	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17
Custo fixo	R\$	218.500,00	218.500,00	218.500,00	218.500,00
Custos variáveis	R\$	328.461,38	339.623,68	362.521,377	429.545,597
Custos operacionais	R\$	546.961,38	558.123,68	581.021,38	648.045,60

Para a planta de jigagem por ela ser alugada não há depreciação e não houve amortização durante o período em análise. Portanto, a partir da receita e dos custos operacionais gerados pela jigagem é possível analisar a viabilidade da planta. O EBTIDA pôde-se ser calculado através da equação 1 e os resultados obtidos estão expostos na Tabela

10 e 11, evidenciando que o indicador econômico se manteve positivo em todo o ano, evidenciando a viabilidade da planta de jigagem.

Tabela 10 - EBITDA referente ao período de ago/2016 à nov/2016

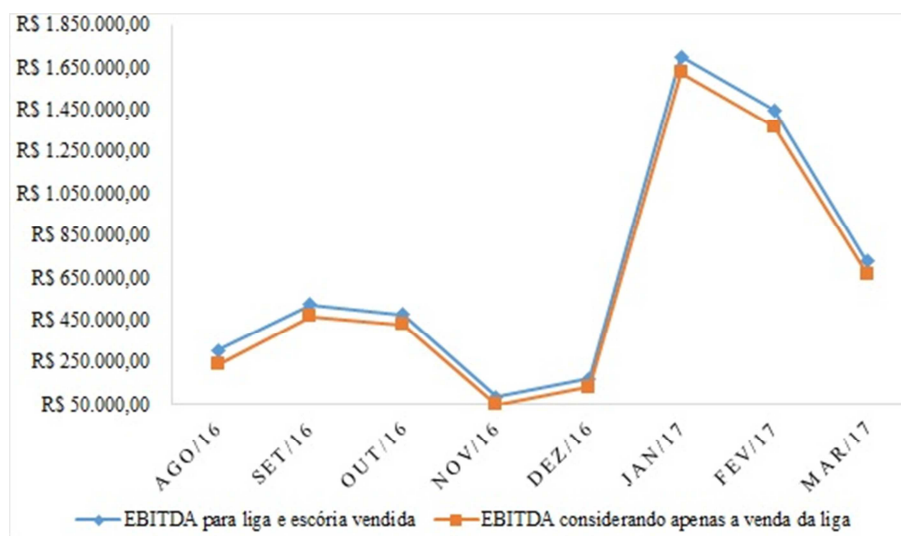
	Unid.	ago/16	set/16	out/16	nov/16
Receita	R\$	837.213,78	1.160.976,76	931.779,38	675.589,86
Custos operacionais	R\$	529.155,11	637.225,36	455.552,28	590.947,22
EBITDA	R\$	289.387,79	513.666,49	446.674,74	93.571,44

Tabela 11 - EBITDA referente ao período de Dez/2016 à Mar/2017

	Unid.	ago/16	set/16	out/16	nov/16
Receita	R\$	720.169,63	2.258.041,63	2.027.710,18	1.377.484,13
Custos operacionais	R\$	546.961,38	558.123,68	581.021,38	648.045,60
EBITDA	R\$	185.596,36	814.198,70	662.309,87	729.438,53

O Gráfico 1, mostra a comparação entre os EBTIDAS obtidos mensalmente, considerando que a escória e a liga de FeSiMn recuperada foram vendidas e caso se apenas a liga de FeSiMn recuperada fosse vendida. Nota-se que a rentabilidade da planta de jigagem manteve-se praticamente inalterada independente da venda da escória devido ao seu preço ser muito menor que o da liga de FeSiMn. No entanto, a venda da escória é de extrema importância para reduzir os impactos negativos no meio ambiente, já que ela é o resíduo de maior geração na indústria siderúrgica, além de trazer uma utilidade a essa escória pobre, antes inutilizada, anulando a possibilidade de haver custo para o armazenamento e descarte da mesma.

Gráfico 1 - Comparação entre EBITDAS



6 CONCLUSÃO

Através das caracterizações químicas foi possível verificar a redução da presença de metais na escória após o processo de jigagem, podendo assim ser vendida. Além disso, verificou-se que a liga FeSiMn recuperada pode ser classificada de acordo com as especificações desejadas, portanto, ela possui valor agregado para venda.

A análise de viabilidade econômica da planta de jigagem, através do indicador econômico EBITDA, afirmou que o processo é rentável pois, o indicador se manteve positivo em todo o período de análise. Foi observado que a utilização da planta de jigagem é viável apenas com a venda da liga recuperada, porém, a venda da escória essencial para diminuir os impactos negativos no meio ambiente, já que ela é o resíduo de maior geração na indústria siderúrgica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S.; GANDRA, G. T. **Panorama da indústria mundial de ferroligas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 1999. n. 10.

BENIQUE, F. S. B. **Contribuição à auto-redução carbotérmica de aglomerados contendo óxidos de manganês**. Pontifícia Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

DELLA, V. P.; JUNKES, J. A.; KUHN, I.; HIELLA, H. G.; HOTZA, D. By-product Utilization of metallic recovering of stainless steel slags in the ceramic pigments synthesis: Raw material characterization. **Cerâmica**, v. 51, 2005.

FARIA, G. L.; REIS, E. L.; JANOTTI JR., N.; ARAÚJO F. G. S. Caracterização química, física e mineralógica do produto granulado de manganês proveniente da Mina do Azul. **Revista Matéria**, v. 17, n. 1, p. 901 – 908, 2012.

FERNANDES, G. **Comportamento de estruturas de pavimentos ferroviários com utilização de solos finos e/ou resíduos de mineração de ferro associados à geossintéticos**. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FERNANDES, D. P. **Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental da escória de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastros de ferroviário**. 2010. Dissertação (MESTRADO), NUGEO - Núcleo de Geotécnica da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

GUMIERI, A.G. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Escórias de Aciaria do Processo LD como Adição em Cimentos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 226, 2002.

IÇO, J. A.; BRAGA, R. P B. EBITDA: lucro ajustado para fins de avaliação de desempenho operacional. **Revista Contabilidade e Informação Conhecimento e Aprendizagem**, Unijuí, Ano 3, p. 39 – 47, 2001.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. (Ed.). **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 4. ed., p.241-270, 2004.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 5. ed., 2010.

MACHADO, A. T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

MANCIO, M. **Caracterização e avaliação das escórias de aciaria elétrica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MILANEZ, B.; PORTO, M.F.S. **A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990**. Brasília, 2008.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico do setor metalúrgico**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, 2015.

NASCIMENTO, J. F. **Estudo da expansibilidade em escória de aciaria para uso em pavimentação rodoviária**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

- OLIVEIRA, R. W. H. **Caracterização da escória de ferro silício-manganês para a aplicação como agregado em pavimentação ferroviária.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- PEREIRA, R.R. **Ajuste da composição química do aço CA-50 em usina siderúrgica semi-integrada.** Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2009.
- RICHTER, D. **Uma rota de recuperação de metal a partir de escória secundária da produção de ferroníquel.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ROCHA, B. P. **Estudo da viabilidade da reutilização da escória de refino secundário no forno elétrico a arco.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- RODRIGUES, G.F.; ALVES, J.O.; TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D. C. R. Fabricação de lâ de rocha a partir da escória da produção de ligas **FeSiMn**, v. 58, n. 348, p. 529-533, 2012.
- ROMEIRO, S. B. B. **Química na siderurgia.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- SALOTTI B. M.; YAMAMOTO M. M.; O estudo empírico sobre o EBTIDA como representação do fluxo de caixa operacional – estudo em empresas brasileiras. In: CONGRESSO USP CONTROLADORIA E CONTABILIDADE. 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005
- SAMPAIO, C. H. e TAVARES, L. M. M. **Beneficiamento gravimétrico.** Porto Alegre, UFRGS Editora, 2005. p. 271-338
- SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.280-290, 2007.
- TAKANO, C.; CAPOCCHI J. D. T.; NASCIMENTO, R. C.; MOURÃO, M. B.; SANTOS, D. M.; LENZ G. A reciclagem de resíduos siderúrgicos sólidos. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 2000, São Paulo, 2000. **Anais...** São Paulo, 2000.